

## Diseño y evaluación de computadores

### ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 2 -

### INTRODUCCIÓN

- ¿Qué interés tiene la evaluación?
- ¿Qué variables reflejan el rendimiento?
- ¿Qué afecta al rendimiento?

### INTRODUCCIÓN

- ¿Para qué la EVALUACIÓN DE PRESTACIONES?

#### HARDWARE

- ◆ **Diseño**  
Comparar diseños alternativos y elegir
- ◆ **Compra, selección, configuración**  
Mejor relación CALIDAD/PRECIO  
Saber qué equipo físico se ajusta mejor
- ◆ **Utilización**
  - ✦ Planificación de la capacidad
  - ✦ Ajuste del sistema (cuellos de botella)
  - ✦ Caracterización y predicción de carga



Evaluación de prestaciones

- 4 -

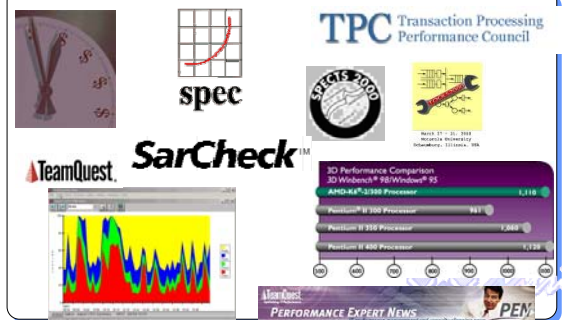
### ¿Por qué evaluar el rendimiento?

- Los computadores tienen un precio que dependen de los costes de diseño y de fabricación
- Hace falta relacionar precio y calidad
  - ◆ Comprador: “este computador cuesta el doble que el otro, pero... ¿es el doble de rápido?”
  - ◆ Diseñador: “esta decisión de diseño incrementa el precio de fabricación, pero... ¿incrementa la calidad y velocidad del producto en la misma o mayor proporción?”
- El análisis de prestaciones y precios (costes) es un mecanismo que permite elegir entre productos

Evaluación de prestaciones

- 5 -

### El papel del rendimiento es importante



Evaluación de prestaciones

- 6 -

### ¿En qué consiste la evaluación?


- Saber cómo el *software* (combinación de programas) está usando el *hardware* de una máquina: **comportamiento**



### Evaluación de prestaciones

- 7 -

## ¿Para qué sirve la evaluación?


- **Optimizar el diseño de un sistema informático**
    - ◆ Evaluación del impacto de diferentes opciones
  - **Seleccionar un sistema informático**
    - ◆ Relación rendimiento/precio
  - **Ajustar un sistema informático (*system tuning*)**
    - ◆ Variación del software/hardware para mantener el máximo rendimiento
  - **Predecir la carga máxima aceptable (*capacity planning*)**
    - ◆ ¡El rendimiento siempre depende de la carga!
- 



### Evaluación de prestaciones

- 8 -

## La carga y la evaluación


- **Carga (*load*):** conjunto de tareas que ha de hacer un sistema
    - ◆ Programas, datos y órdenes de los usuarios
  - **Carga de prueba (*workload*)**
    - ◆ Carga empleada en un estudio de evaluación
  - **Variables que reflejan la carga**
    - ◆ Número de programas simultáneos en ejecución
    - ◆ Accesos por unidad de tiempo a un servidor de páginas web
    - ◆ Peticiones por unidad de tiempo a una base de datos
- 



### Evaluación de prestaciones

- 9 -

## PARÁMETROS

- Los parámetros evaluados en el equipo físico son válidos para una **CARGA DE TRABAJO** concreta  
(**CARGA DE TRABAJO**: conjunto de programas que se ejecutan)
  - Magnitudes que caracterizan la carga de trabajo  
**CARGA DE PRUEBA**: conjunto de programas utilizados durante un estudio
    - ◆ **REAL**: en el sistema en funcionamiento normal
    - ◆ **SINTÉTICA**: (extraídos o no de la real)
      - ❖ comportamiento similar al de la carga real
      - ❖ facilita más el estudio
        - repetible
        - modificable
- 

### Evaluación de prestaciones

- 10 -

### EJEMPLO

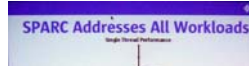
- **Sistema transaccional/interactivo**
- **Carga real:** es difícil reproducir condiciones al repetir un experimento (comp. humano)
  - ◆ movilizar a un conjunto importante de personas
  - ◆ las personas no actuarán de forma idéntica en cada experimento
  - ◆ efecto de aprendizaje en cada repetición reducirá tiempos de reflexión

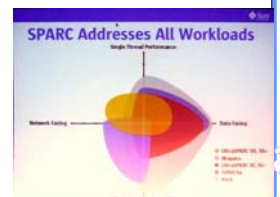


### Evaluación de prestaciones

- 11 -

## Adaptación a la carga

- Un computador no es bueno ni malo *per se*, sino que se adapta mejor o peor a un tipo determinado de carga
  - Computadores adaptados a cargas específicas
    - ◆ Servidores web
    - ◆ Servidores de bases de datos
    - ◆ Servidores de ficheros
    - ◆ Computadores personales
    - ◆ Multiprocesadores
    - ◆ Multicomputadores
    - ◆ Etc.
- 



### Evaluación de prestaciones

- 12 -

## Términos

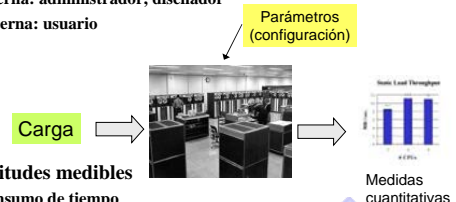
- **Sistema:**  
Cualquier conjunto de hardware, software, y firmware
- **Métrica:**  
Criterio para evaluar el rendimiento de los componentes de un sistema
- **Carga de trabajo:**  
Conjunto de peticiones que los usuarios hacen al sistema

Evaluación de prestaciones

- 13 -

## Cómo se ve la actividad de un sistema

- **Vistas del sistema**
  - ◆ Interna: administrador, diseñador
  - ◆ Externa: usuario
- **Magnitudes medibles**
  - ◆ Consumo de tiempo
  - ◆ Utilización de dispositivos o recursos
  - ◆ Trabajo hecho por el sistema o por algún componente



Evaluación de prestaciones

- 14 -

## Medidas de rendimiento

- **Tiempo de respuesta (*response time*)**
  - ◆ Tiempo total desde el principio hasta el final de la actividad
    - ❖ Tiempo de ejecución de un programa (s)
    - ❖ Tiempo de acceso a un disco (ms)
- **Productividad (*throughput*)**
  - ◆ Cantidad de trabajo hecho por unidad de tiempo
    - ❖ Programas ejecutados por hora
    - ❖ Páginas por hora servidas por un servidor web
    - ❖ Correos por segundo procesados por un servidor de correo
    - ❖ Peticiones por minuto procesados por un servidor de comercio electrónico

¡La más fiable e intuitiva para comparar rendimientos!



Evaluación de prestaciones

- 15 -

## ¿Qué afecta al rendimiento?

- **Parámetros del sistema operativo**
  - ◆ Tipos de sistema operativo
  - ◆ Políticas de planificación y gestión de procesos
  - ◆ Configuración del sistema de memoria virtual
- **Componentes *hardware* del sistema**
  - ◆ Calidad y velocidad
- **Diseño de los programas**
  - ◆ Localidad en las referencias
- **Distribución de la carga (*load balancing*)**



Evaluación de prestaciones

- 16 -

## INTRODUCCIÓN

- **Parámetros *cualitativos***
- **Parámetros *cuantitativos*:** magnitudes a **medir**
  - ◆ Referenciar unas **medidas cuantitativas o parámetros** que caracterizan el sistema global
    - ❖ **Eficiencia** el sistema
    - ❖ Su **capacidad** de crecimiento
  - ◆ Estas magnitudes se refieren a:
    - ❖ Consumo de **tiempos**
    - ❖ **Utilización** de recursos
    - ❖ **Trabajo** realizado (del sistema o de componentes)

Evaluación de prestaciones

- 17 -

## PARÁMETROS

- **EXTERNOS:** perceptibles por el usuario
  - ◆ **PRODUCTIVIDAD (*throughput*):** cantidad de trabajo útil/ut
    - ❖ Su inverso: Tiempo entre llegadas
  - ◆ **CAPACIDAD:** máxima cantidad de trabajo útil posible/ut
    - ❖ ¿Posible? **Nunca se alcanza realmente!**
  - ◆ **TIEMPO DE RESPUESTA:** tiempo entre petición al sistema y obtención de resultado (respuesta)
    - ❖ Indicador de "velocidad" del sistema que percibe el usuario ante su petición

Evaluación de prestaciones

- 18 -

## PARÁMETROS

- **INTERNOS:** interesan al administrador del sistema (aprovechamiento del sistema)
  - ◆ **FACTOR DE UTILIZACIÓN** de un componente  
% de tiempo que se utiliza el componente
  - ◆ **SOLAPAMIENTO** de componentes  
% de tiempo que se utilizan simultáneamente
  - ◆ **SOBRECARGA (overhead)**  
% de tiempo que se utiliza el sistema (o componente) en tareas no directamente imputables a los trabajos en curso
  - ◆ **FACTOR DE CARGA DE MULTIPROGRAMACIÓN**  
Relación  $\frac{T_{resp \text{ en multiprogramación}}}{T_{resp \text{ en monoprogramación}}}$

Evaluación de prestaciones

- 19 -

## ¿Cómo podemos mejorar el rendimiento?

- **Actualización de componentes (upgrading techniques)**
  - ◆ Reemplazamiento por dispositivos más rápidos
  - ◆ Añadir nuevas unidades
- **Ajuste o sintonización (tuning techniques)**
  - ◆ Parámetros del sistema operativo
  - ◆ Parámetros de las aplicaciones informáticas
- **Algunos problemas prácticos**
  - ◆ Actualización de componentes
    - ✦ Compatibilidad con los existentes o facilidad del sistema
      - Biprocesadores, discos agrupados en matrices (RAID)
  - ◆ Sintonización
    - ✦ Conocimiento profundo del sistema operativo
    - ✦ Posible alteración de la fiabilidad



Evaluación de prestaciones

- 20 -

## Introducción

### Evaluación de Prestaciones

- Definir métricas de rendimiento
- Caracterizar la carga
- Medir prestaciones
- Analizar resultados
- Desarrollar alternativas coste x rendimiento:
  - ◆ prototipo
  - ◆ modelado
- Probar alternativas
- Implementar la mejor alternativa



Evaluación de prestaciones

- 21 -

## Ejemplo I

Qué métricas se usarían para comparar el rendimiento de los siguientes sistemas?

1. Dos sistemas de discos
2. Dos sistemas de proceso de transacciones
3. Dos algoritmos de retransmisión de paquetes

Evaluación de prestaciones

- 22 -

## Ejemplo II

La productividad (expresada en queries/seg) de dos bases de datos para dos cargas de trabajo diferentes observada en dos sistemas A y B se muestra en la siguiente tabla.

system	workload1	workload 2
A	30	10
B	10	30

Comparar el rendimiento de los dos sistemas :

- a. es el sistema A mejor?
- b. es el sistema B mejor?

Evaluación de prestaciones

- 23 -

## ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 24 -

## Técnicas de evaluación

- Métodos y herramientas que permiten obtener los índices de prestaciones de un sistema
  - ◆ para una carga determinada
  - ◆ con unos valores de parámetros del sistema determinados
- Técnicas de evaluación de prestaciones
  - ◆ Monitorización: medidas reales de un sistema funcionando
  - ◆ Modelado: el sistema no es accesible
    - ✦ Técnicas analíticas: descripción matemática del sistema
    - ✦ Simulación: programa que modela ciertas características del comportamiento del sistema

Benchmarking (?): cargas de prueba estándar

Evaluación de prestaciones

- 25 -

## Comparación de técnicas

- Técnicas de evaluación de prestaciones
    - ◆ Monitorización:
      - ✦ V: representativo
      - ✦ I: sistema no siempre accesible
    - ◆ Modelado: Técnicas analíticas
      - ✦ I: restricciones en el sistema (no siempre aplicable); validación
      - ✦ V: exacto y rápido
    - ◆ Modelado: Simulación
      - ✦ V: modela cualquier sistema
      - ✦ I: aproximado, coste de desarrollo y ejecución; validación
- Benchmarking (?)
- V: simplifica fase de modelado de carga; relativamente rápido
- I: representatividad

Evaluación de prestaciones

- 26 -

## ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 27 -

## Monitores

- Herramienta para **OBSERVAR** la actividad de un Sistema Informático durante su funcionamiento habitual
 

Al repetir observación, no se repiten resultados

  - ✦ observan comportamiento
  - ✦ recogen información estadística de ejecución de programa
  - ✦ analizan datos recogidos
  - ✦ presentan resultados
- Tipos:
  - ◆ M. Software / M. Hardware / M. Híbridos
  - ◆ de Eventos / por Muestreo
  - ◆ en Tiempo Real / en Batch

Evaluación de prestaciones

- 28 -

## Implementación de los monitores

- Software
  - ◆ Programas instalados en el sistema
- Hardware
  - ◆ Dispositivos externos al sistema
- Híbridos
  - ◆ Utiliza los dos tipos anteriores

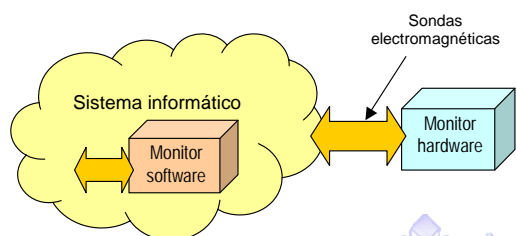
Los más habituales

Entornos muy específicos

Evaluación de prestaciones

- 29 -

## Situación de los monitores



Evaluación de prestaciones

- 30 -

## Monitores

- **M. Software:** Programas, instrucciones o extensiones del SO que acceden al estado del sistema e informan al usuario
  - ◆ Muy flexibles: detectan todo tipo de eventos
  - ◆ Sobrecargan el sistema
- **M. Hardware:** Dispositivos físicos (sondas) conectados al sistema. Detectan eventos eléctricos.
  - ◆ Externos: no consumen recursos; no interfieren; rápidos
  - ◆ Desventajas: más difíciles de instalar; magnitudes no accesibles por hardware; personal especializado
- **Monitores híbridos:** aúnan las ventajas de los anteriores
  - ◆ Reconocimiento de eventos por software
  - ◆ Almacenamiento y control de tiempos por hardware

Evaluación de prestaciones

- 31 -

## Comparación monitores

CRITERIO	Monitores HARDWARE	Monitores SOFTWARE
1) Dominio	Difícil medir eventos del SO	Difícil medir eventos hard no relacionados a instrucciones
2) Cadencia_entrada	Son muy rápidos	Limitada por potencia CPU y máx sobrecarga tolerable
3) Resolución temporal	La del reloj del monitor	La del reloj del Sist Op
4) Experiencia analista	Buen conocimiento del Hard	Buen conocimiento del Soft
5) Capacidad de grabación	Limitada por memoria y disco Hoy no es un problema	Limitada por sobrecarga de transmisión de datos
6) Ancho_entrada	Puede grabar varios eventos simultáneamente	Captura simultáneamente sólo con múltiples CPUs
7) Sobrecarga	Ninguna	F(cadencia+ancho entrada)
8) Portabilidad	Usables con varios sistemas	Específicos para Hard+SO
9) Disponibilidad	Monitorizan sistemas que fallan Sirven para depurar fallos	No pueden monitorizar un sistema que falla
10) Errores	Se pueden conectar las sondas en puntos incorrectos	Una vez depurados los errores son raros
11) Coste	Alto	Medio

Evaluación de prestaciones

- 32 -

## ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 33 -

## Modelado de sistemas

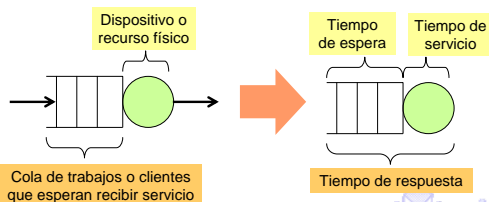
- **Modelo: abstracción del sistema informático real**
  - ◆ Conjunto de dispositivos relacionados y trabajos que los usan
    - ✦ Dispositivos: procesador, discos, cintas, memoria, etc.
    - ✦ Trabajos: programas, transacciones, peticiones, etc.
  - ◆ Normalmente un recurso solo puede ser usado por un trabajo. El resto tiene que esperar
- **Modelos basados en redes de colas**
  - ◆ Objetivo: cálculo del tiempo de respuesta que experimenta un trabajo procesado por un sistema informático
  - ◆ Aproximación estadística
- **Técnicas basadas en modelado:**
  - ◆ técnicas analíticas
  - ◆ simulación

Evaluación de prestaciones

- 34 -

## Concepto de estación de servicio

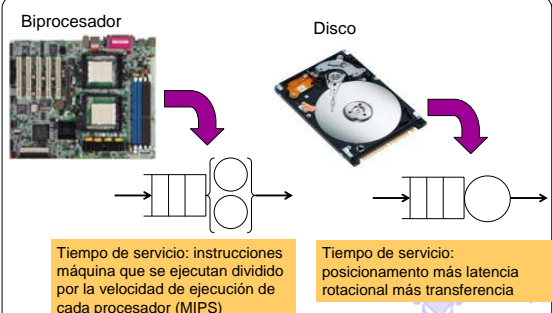
- **Estación de servicio (queue, service station)**
  - ◆ Objeto abstracto compuesto por un servidor y una cola de espera



Evaluación de prestaciones

- 35 -

## Un par de modelos sencillos

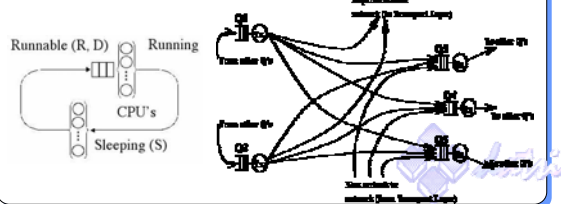


Evaluación de prestaciones

- 36 -

## Redes de colas: concepto

- Conjunto de estaciones de servicio conectadas entre sí
- Cada recurso del sistema se representa mediante una estación de servicio
- La red de colas se resuelve aplicando técnicas analíticas por alguno de sus métodos de resolución
- Simplificación: mediciones y equilibrio - **leyes operacionales**



Evaluación de prestaciones

- 37 -

## El modelo de servidor central

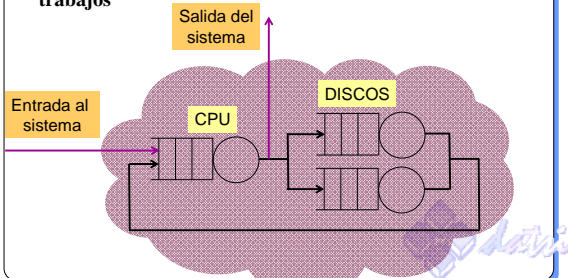
- Representa el comportamiento de los programas en la mayoría de los sistemas informáticos
- ¿Cuál es este comportamiento?
  - ◆ Un trabajo que llega al sistema comienza utilizando el procesador
  - ◆ Después de dejar el procesador, el trabajo puede:
    - ❖ Terminar (sale del sistema), o bien
    - ❖ Realizar un acceso a la unidad de entrada/salida
  - ◆ Después de una operación con una unidad de entrada/salida, el trabajo vuelve al procesador
- Recursos considerados
  - ◆ Procesador
  - ◆ Entrada/salida: unidades de disco magnético, óptico, etc.

Evaluación de prestaciones

- 38 -

## Modelo de servidor central

- Integra tanto los dispositivos como su uso por parte de los trabajos



Evaluación de prestaciones

- 39 -

## ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 40 -

## Simulación

- Técnica de estudio del comportamiento de un sistema inexistente o inaccesible
  - ◆ Programa que se comporta igual que el sistema real
    - ❖ Es necesario conocer a fondo el funcionamiento del sistema que se modela
  - ◆ Muestreo estadístico del comportamiento del programa (durante cierto tiempo)
    - ❖ Estimación del resultado real: no obtiene resultados exactos
- **Ventaja:** puede modelar aspectos muy detallados del sistema: se puede modelar casi cualquier sistema
- **Inconvenientes:**
  - ❖ Coste de desarrollo y tiempo de ejecución
  - ❖ Validación del modelo

Evaluación de prestaciones

- 41 -

## Simulación

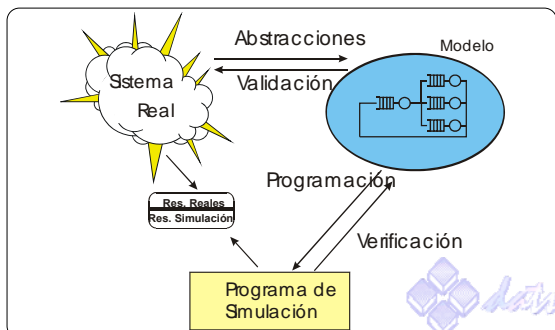
- **Modelado-Programación-Simulación**
- 1.- **Representación por un modelo:** abstraer del comportamiento del sistema lo que interesa en función de los objetivos y nivel a que se quiere analizar.
  - Experiencia en modelado de sistemas
  - Conocer a fondo el funcionamiento y características del sistema
- 2.- **Programa** que realiza las funciones del modelo
  - Ajustes en el modelo
- 3.- **Experimentos de simulación:**
  - Estudiar cuánto deben durar las simulaciones: intervalo de confianza
  - Analizar resultados
  - Validar (modelo) y verificar (programa)

Evaluación de prestaciones

- 42 -



## Simulación



Evaluación de prestaciones

- 43 -

## Simulación

### Modelado-Programación-Simulación

Distinguir entre

- ◆ El modelo del sistema
- ◆ El simulador del modelo

**Diseño del modelo:** (componentes, arquitectura de conexión, funcionamiento de cada componente) puede basarse en diversas abstracciones.

Puede haber varios diseños para el mismo sistema informático

**El programa (simulador)** del modelo es una implementación de dicho modelo.

Puede haber varios simuladores para el mismo modelo

Evaluación de prestaciones

- 44 -

## Comparación de técnicas de evaluación

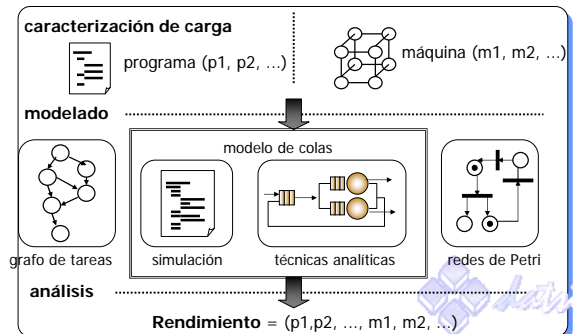
Comparación de técnicas de evaluación de prestaciones

Características	Monitorización	Mod. Analítico	Simulación
Flexibilidad	baja	alta	alta
Credibilidad	alta	baja	media
Precisión	alta	alta/baja ?	media
Coste	alto	bajo	medio

Evaluación de prestaciones

- 45 -

## Técnicas de evaluación: modelado



Evaluación de prestaciones

- 46 -

## ÍNDICE

- Introducción
- Técnicas de evaluación
  - ◆ Monitorización
  - ◆ Técnicas analíticas
  - ◆ Simulación
- Aplicación: leyes operacionales

Evaluación de prestaciones

- 47 -

## El análisis operacional

- Basado en magnitudes medibles (operacionales) del sistema informático



- Leyes operacionales: relaciones entre las magnitudes medibles

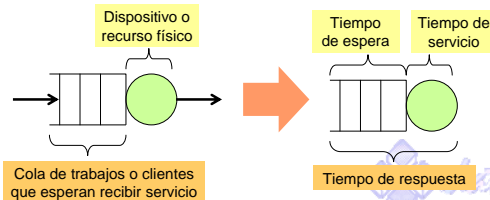
Evaluación de prestaciones

- 48 -



## Concepto de estación de servicio

- Estación de servicio (*queue, service station*)
  - Objeto abstracto compuesto por un servidor y una cola de espera

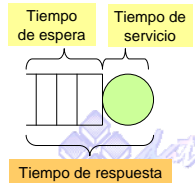


Evaluación de prestaciones

- 49 -

## Variables temporales

- Tiempo de espera en cola
  - Tiempo transcurrido desde que un trabajo quiere utilizar un recurso hasta que realmente empieza a utilizarlo
- Tiempo de servicio
  - Tiempo transcurrido desde que un trabajo hace uso de un recurso hasta que lo libera
- Tiempo de respuesta
  - Suma de los dos tiempos anteriores

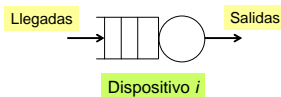


Evaluación de prestaciones

- 50 -

## Las variables operacionales básicas

- Variable temporal
  - $T$ : Duración del periodo de medida (*time*)
- Variables relacionadas con el dispositivo  $i$ 
  - $A_i$ : Número de trabajos que llegan (*arrivals*)
  - $C_i$ : Número de trabajos que se van (*completions*)
  - $B_i$ : Tiempo de ocupación (*busy time*)



Evaluación de prestaciones

- 51 -

## Las variables deducidas: dispositivo $k$

- |             |   |                 |
|-------------|---|-----------------|
| $U_i$       | Utilización ( <i>utilization</i> )            | Adimensional    |
| $\lambda_i$ | Tasa de llegadas ( <i>arrival rate</i> )      | Trabajos/tiempo |
| $X_i$       | Productividad ( <i>throughput</i> )           | Trabajos/tiempo |
| $S_i$       | Tiempo de servicio ( <i>service time</i> )    | Tiempo          |
| $V_i$       | Razón de visita ( <i>visit ratio</i> )        | Adimensional    |
| $D_i$       | Demanda de servicio ( <i>service demand</i> ) | Tiempo          |

$$\lambda_i = \frac{A_i}{T}$$

$$X_i = \frac{C_i}{T}$$

$$S_i = \frac{B_i}{C_i}$$

$$U_i = \frac{B_i}{T}$$

$$V_i = \frac{C_i}{C_0}$$

$$D_i = V_i \times S_i$$

Evaluación de prestaciones

- 52 -

## Algunos detalles importantes

- Las variables deducidas son valores medios
- La utilización de un dispositivo está entre 0 y 1
- El tiempo de servicio es el tiempo que un trabajo pasa en el servidor del dispositivo
- La razón de visita ( $V_i$ ) indica las veces que un trabajo visita un determinado dispositivo
- La demanda de servicio ( $D_i$ ) no tiene en cuenta la posible espera en cola. Representa la carga que un trabajo provoca en el sistema

Evaluación de prestaciones

- 53 -

## Otras variables de una estación

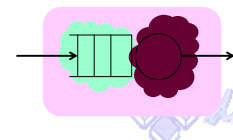
- $R_i$ : Tiempo de respuesta (*response time*)
- $W_i$ : Tiempo de espera en cola (*waiting time*)
- $N_i$ : Trabajos en toda la estación (cola más servidor)
- $Q_i$ : Trabajos en cola de espera (*waiting customers*)

Dimensión temporal:

$$R_i = W_i + S_i$$

Dimensión espacial:

$$N_i = Q_i + U_i$$



Evaluación de prestaciones

- 54 -

## Las variables del sistema

### Variables básicas

- ◆  $A_0$  Número de trabajos que llegan (*arrivals*)
- ◆  $C_0$  Número de trabajos que se van (*completions*)

### Variables deducidas

- ◆  $\lambda_0$  Tasa de llegadas (*arrival rate*)
- ◆  $X_0$  Productividad (*throughput*)



Evaluación de prestaciones

- 55 -

## Leyes operacionales

- El valor de las variables operacionales depende del intervalo de observación  $T$
- Las relaciones entre las variables operacionales se mantienen para cualquier intervalo de observación
- Estas relaciones se denominan leyes operacionales porque son de aplicación universal
- No dependen de suposiciones sobre distribuciones del tiempo de servicio o del tiempo entre llegadas

Evaluación de prestaciones

- 56 -

## Hipótesis del equilibrio de flujo

### El equilibrio de flujo de trabajos

- ◆ Supone que el sistema trabaja en estado estable (no saturado)
- ◆ El sistema cumple el supuesto de equilibrio de flujo si para cada dispositivo:
  - ✦ La tasa de llegada coincide con la tasa de salida ( $\lambda_i = X_i$ ), o bien,
  - ✦ El número de trabajos que llegan coincide con el que sale ( $A_i = C_i$ )
- ◆ Aproximación aceptable: para intervalos de observación suficientemente largos

$$\left| \frac{A_i - C_i}{C_i} \right| \approx 0$$

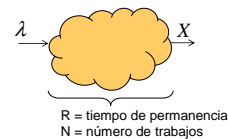
$$\text{Si } A_i = C_i \Rightarrow \lambda_i = X_i$$

Evaluación de prestaciones

- 57 -

## Ley de Little

- Parte del cumplimiento del supuesto de equilibrio de flujo
- Relaciona el número de trabajos en el sistema con el tiempo de permanencia y su productividad o tasa de llegada



$$N = \lambda R = X R$$

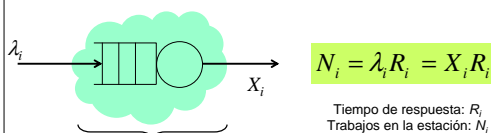
Esta ley puede ser aplicada a diferentes niveles del sistema

Evaluación de prestaciones

- 58 -

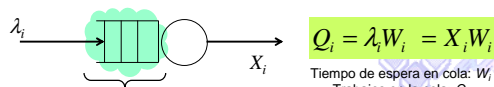
## ¿Cómo aplicar la ley de Little?

### Aplicación a toda una estación de servicio



$$N_i = \lambda_i R_i = X_i R_i$$

### Aplicación a la cola de una estación de servicio



$$Q_i = \lambda_i W_i = X_i W_i$$

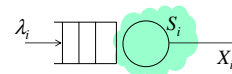
Evaluación de prestaciones

- 59 -

## Ley de la utilización

$$U_i = \frac{B_i}{T} = \frac{C_i}{T} \frac{B_i}{C_i} = X_i S_i \Rightarrow U_i = X_i S_i$$

- Caso particular de la ley de Little aplicada al servidor de una estación



$$U_i = \lambda_i S_i = X_i S_i$$

Evaluación de prestaciones

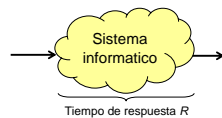
- 60 -

### Ley general del tiempo de respuesta

- Es independiente del tipo de sistema (abierto o cerrado)
- Solo se consideran las razones de visita y los tiempos de respuesta de cada estación

En general,

$$R \neq R_1 + R_2 + \dots + R_K = \sum_{i=1}^K R_i$$



En particular,

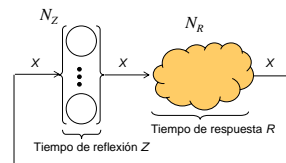
$$R = V_1 \times R_1 + V_2 \times R_2 + \dots + V_K \times R_K = \sum_{i=1}^K V_i \times R_i$$

Evaluación de prestaciones

- 61 -

### Ley del tiempo de respuesta interactiva

- Se obtiene mediante la aplicación de la ley de Little a un sistema informático cuando la carga es interactiva ( $Z > 0$ ) o batch ( $Z = 0$ )



$$\begin{aligned} N_Z &= XZ; N_R = XR \\ N &= N_Z + N_R = XZ + XR \\ &= X(Z + R) \\ \Rightarrow R &= \left( \frac{N}{X} \right) - Z \end{aligned}$$

Evaluación de prestaciones

- 62 -

### Ejemplo III

- Como consecuencia de unas medidas sobre un sistema informático, se obtuvo que el número medio de trabajos en un disco (en espera y en servicio) fue de 1.2 y su productividad de 25 trabajos/s. Su tiempo medio de servicio (posicionamiento más latencia más transferencia) fue de 30 ms.
- Cálculo del tiempo de respuesta:

$$N_i = X_i R_i \Rightarrow R_i = \frac{N_i}{X_i} = \frac{1.2}{25} = 0.048 \text{ s} = 48 \text{ ms}$$

- Cálculo de la utilización:

$$U_i = X_i S_i = 25 \times 0.03 = 0.75$$

Evaluación de prestaciones

- 63 -

### Ejemplo III (cont)

- El tiempo de respuesta (48 ms) es mayor que el tiempo de servicio (30 ms) a pesar de que la utilización no llega al 100%. Esto es debido a que el disco puede estar vacío o bien puede que lleguen trabajos cuando ya hay alguno en servicio.
- Cálculo del número de trabajos en la cola de espera

$$N_i - U_i = 1.2 - 0.75 = 0.45 \text{ trabajos}$$

- Cálculo del tiempo de espera en cola

$$\frac{N_i - U_i}{X_i} = \frac{1.2 - 0.75}{25} = 0.018 \text{ s} = 18 \text{ ms}$$

Evaluación de prestaciones

- 64 -

### Ejemplo IV

- En un entorno interactivo se dispone de las siguientes medidas:

- 10 terminales activos
- por término medio hay 7,5 terminales trabajando
- productividad del sistema igual a 0,5 interacciones/s
- datos del disco A:
  - sirve 40 peticiones/s
  - cada petición requiere una media de 0,0225 s de servicio
  - número medio de peticiones presentes igual a 4

- Se pide:

- número medio de peticiones recibiendo servicio en el disco A
- tiempo medio de residencia de una petición al disco A
- tiempo medio de espera en la cola de una petición al disco A
- número medio de peticiones en la cola de espera del disco A
- tiempo medio de respuesta percibido por el usuario
- tiempo de reflexión

Evaluación de prestaciones

- 65 -

### Ejemplo IV (cont)

- número medio de peticiones recibiendo servicio en el disco A  
 $U = 40 \times 0,0225 = 0,9$  **90%**
- tiempo medio de residencia de una petición al disco A  
 $N=4$ ;  $R = N/X$ ;  $R = 4/40 = 0,1$  s
- tiempo medio de espera en la cola de una petición al disco A  
 $W-R-S = 0,1 - 0,0225 = 0,0775$  s
- número medio de peticiones en la cola de espera del disco A  
 $N = N_{cola} + N_{servicio} = 4$ ;  $N_{cola} = 4 - 0,9 = 3,1$  peticiones
- tiempo medio de respuesta percibido por el usuario  
 $X = 0,5$  interacciones/s;  $N = 7,5$  usuarios;  $R = N/X = 7,5/0,5 = 15$  s
- tiempo de reflexión  
 $X = 0,5$  interacciones/s;  $N = 10$  terminales;  $Z = N/X - R = 10/0,5 - 15 = 5$  s

Evaluación de prestaciones

- 66 -